

Társadalmi konfliktusokat generáló ökológiai történések a Balaton életében az utóbbi néhány évtizedben – A vízszintváltozás hatása a parti öv növényvilágára

Vörös Lajos,^{*} Kravinszkaja Gabriella,^{**} Présing Mátyás,^{*} V-Balogh Katalin,^{*} Tóth Viktor^{*}

Abstract **Social Conflict Generating Ecological Developments in the Life of Lake Balaton in Recent Decades – Effect of water level fluctuation on the plants of the littoral zone.** While the Hungarian public was primarily concerned with the water quality of Lake Balaton in the 1980s and 1990s, low water levels and their environmental effects became the focus of public attention in 2002, 2003 as well as 2012.

Accurate and reliable monthly and yearly data about the water balance of Lake Balaton has been available since 1921. The amounts of water getting into the lake from the catchment area have been considerably less than average in nine percent of the period between 2001 and 2012; the water in the catchment area became scarce and the water levels of the lake notably decreased during the drier than average years of 2001–2004 and 2012.

Cladophora glomerata (filamentous green alga) appeared in large quantities in the shallow waters of the south shore in the summer of 2002, 2003 as well as 2012. It is not a new phenomenon: the first documented *Cladophora* explosion in Lake Balaton was in 1934. Scientists at the Balaton Limnological Institute (Center for Ecological Research of the Hungarian Academy of Sciences) studied the *Cladophora* vegetation of the south shore in July 2003. They found that excessive *Cladophora* growth—harming tourism with its gooey green mats and rotting muck—appeared where the water depth was lower than 30 cm. This explosion, however, is not a consequence of water pollution but an unavoidable consequence of the low water levels.

The results show that the photosynthetic apparatus of the main submerged macrophyte species have adapted to the semi-dark waters of Lake Balaton. The photosynthetic parameters of submerged macrophytes indicate that they can survive and disperse in parts of the lake where the water is no deeper than 2.2–2.3 m. It means that the area suitable for the establishment of submerged macrophytes increases by 60 percent with a 50 cm decrease in the water levels, while a 100 cm decrease means a threefold increase in the size of the area favourable for submerged macrophytes.

The decrease in water levels contribute considerably to the spread of reed. This is due the increase in drier areas suitable for sexual reproduction on the one hand and to the oxidation of sediment on the other. The emerging of a reed-covered area out of

^{*} Magyar Tudományos Akadémia Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézet
E-mail: voros.lajos@okologia.mta.hu

^{**}Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság

the water—even if for a short period—contributes considerably to the prevention of reed decline. The artificial stabilization of the water levels in the past fifty years has greatly contributed to the slow degradation of the flora in the littoral zone. At the same time, the low water levels of the past decade have shown that low water levels do not damage the macrophyte populations of Lake Balaton.

Keywords water levels • water shortage • littoral zone • invasion of filamentous green alga • submerged macrophytes • reed stands

*A Balaton életében természetes jelenség, hogy csapadékszegény periódusokban vízszintje csökken. Az ilyen időszakokban számos társadalmi konfliktus erősödik fel, így kiéleződnek a strandok és kikötők üzemeltetésének problémái. Felmerül a kotrások újraindításának szükségessége, sőt a más vízgyűjtőről való vízpótlás igénye. Igaz, hogy a tó nyíltvizének minősége alacsony vízálláskor is kifogástalan, a tó üdülésre való alkalmasságát nagyban rontja az elsősorban a sekélyvizű déli parti sávban egy fonalas zöldmoszat, az érdes békanyál (*Cladophora glomerata*) tömeges elszaporódása (pl. 2002, 2003-ban és 2012-ben), ami a strandokról elriasztja a fürdőzőket. A vízszintváltozásnak hatása van a parti sáv hínár- és nádasállományaira is, amely további konfliktusok forrása lehet.*

Bevezetés

Amíg az 1980-as és 1990-es években a Balaton vízminőségével kapcsolatos problémák izgatták az ország közvéleményét, 2002-ben, 2003-ban (és 2012-ben) az alacsony vízállás, és annak hatásai kerültek az érdeklődés középpontjába. Ez a jelenség élénk sajtóvisszhangot váltott ki, és az is rögtön nyilvánvalóvá vált, hogy sokan sokféleképpen közelítenek ehhez a problémához (Fazekasné és Krasznainé, 2003). Ez persze nem véletlen, hiszen eltérő érdekekről van szó, más az érdeke a fürdőzőnek, más a vitorlás jachtok tulajdonosának, más a horgásznak stb. Megint más a vízépítő mérnökök érdeke, akik különböző vízpótló alternatívák tervezésével kezdenek el rögtön foglalkozni, illetve porolnak le korábbi terveket a Rába, Dráva vagy a Mura vizének Balatonba vezetésével kapcsolatban.

Azzal viszonylag keveset foglalkoztak a médiumok, hogy milyen ökológiai hatásai vannak az alacsony vízállásnak, illetve a vízszint ilyen mértékű ingadozásának. Igaz, utóbbival a szakemberek is csak ennek a rendkívüli állapotnak a kapcsán kezdtek el célzottan foglalkozni, ami egyébként érthető, hiszen a megelőző néhány évtizedben ilyen alacsony vízállás nem fordult elő (legutóbb 1949-ben volt a 2002-2003 évihez hasonlóan alacsony a vízszint). Az alacsony vízállás pedig nemcsak azért teremtett konfliktus helyzeteket, mert megnehezítette a hajózást, hanem mert kiváltotta a legfeltűnőbb és legmarkánsabb ökológiai jelenséget, a fonalas zöldalga (*Cladophora glomerata* (Linnaeus) Kützing 1843) elburjánzását a déli part strandjain, ami egyben jelentősen csökkentette a tó idegenforgalmi vonzerejét. Kevésbé gyorsan és látványosan, de az alacsony vízállás drasztikus hatással volt a vízparti nádasok életére is. Dolgozatunkban ezért először bemutatjuk magát a jelenséget, a vízállásváltozás hidrológiai hátterét, majd foglalkozunk a vízálláscsökkenés parti öv algavilágára, hínárosaira és nádasaira kifejtett hatásaival.

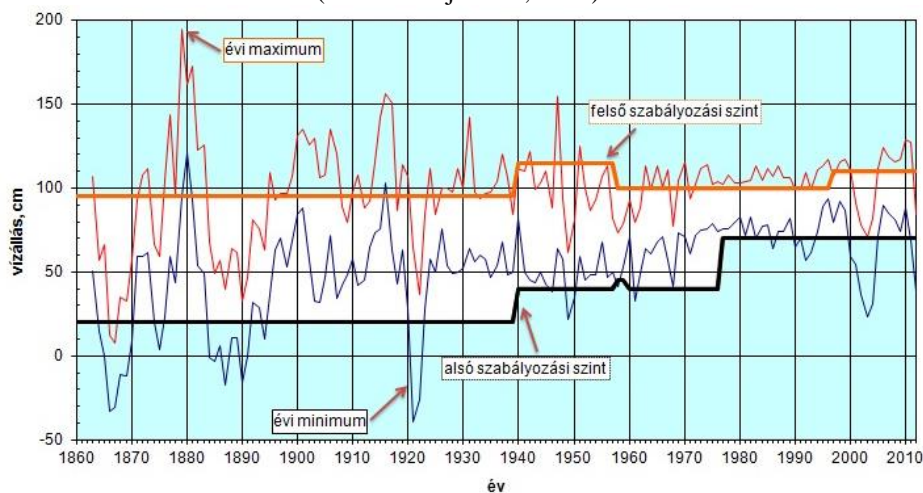
A Balaton vízkészlet változásai a közelmúltban

Cholnoky Jenő már 1932-ben felismerte, hogy a tó rendkívüli szépsége, különleges környezete jelentős nemzetgazdasági értéket is képvisel (Cholnoky, 1936). A környezeti és gazdasági érték megőrzése ma már állami feladat, amelynek megfelelő ellátása megbízható alapismereteket, elemzéseket és egyben szélesebb kitekintést is igényel. A tó esetében a vízállásváltozáson keresztül, közvetett módon több természeti tényező is értékelhető, a vízmennyiség változása nyomon követhető. Ugyanakkor a vízmennyiség változása is befolyásolhat egyéb környezeti, természeti tényezőket, ökológiai, gazdasági és társadalmi változásokat indukálhat. Vagyis a vízállásváltozások (vízkészlet-változások) felfoghatók a tó „alfájának és omegájának”. Az alábbiakban a tó szabályozott időtartamára vetítve tekintjük át röviden ennek a tényezőnek az alakulását, különös tekintettel a közelmúlt szélsőségeire.

A Balaton 600 km² felületével, 3,4 m-es átlagos mélységével és mintegy 2 km³ vízmennyiségével Közép-Európa legnagyobb sekély-vízű tava, ezért a Balatont mind mennyiségi, mind vízminőségi vonatkozásban a környezeti változásokra való nagyfokú érzékenység jellemzi. A tó vízmennyiségének időbeli változását a természeti tényezők együttesen határozzák meg, amely legkézzelfoghatóbban a tó vízállásának változásában mutatkozik meg (1. ábra).

**1. ábra • A Balaton évi minimális és maximális vízállásai
1863–2012**

(Kravinszkaja et al., 2012)



1863-ig a Balaton vízállása a maitól merőben eltérő hidrológiai viszonyok között alakult ki, mert a vízgyűjtő terület a mostanitól lényegesen eltérő, őszállapotú öblözetekkel, növényborítottsággal, művelési kultúrával és a többletvíz leeresztési lehetőségének hiányával volt jellemezhető. A tó lefolyása a Sió zsilipen és csatornán keresztül 1863 óta szabályozott, a már rendszeresen mért vízállások azonban még mindig jelentős vízszíntingadozásokat mutatnak. A Sió-zsilip többszöri átépítése és a Sió-meder vízszállító-képességének bővítése lehetővé tette a vízszintszabályozás fokozatos finomítását, mely leegyszerűsítve a szabályozási sáv szűkítését és emelését jelentette. A tóból történő vízlevezetés mértékét és időtartamát a mindenkor vízgazdálkodási igények és a vízszint-szabályozási rend határozták meg.

Az 1997 óta alkalmazott és 2003-ban bevezetett új vízszint szabályozási rendszerint a Balaton vízállását a Siófoki vízmérce „0” pontjára vonatkoztatva (103,41 m B.f.) éves időléptékben a 70–110 cm közötti szabályozási sávban kell a kezelőnek tartani, amit a H/6375-3/2002-12. számú vízjogi üzemeltetési engedély és a mellékletét képező üzemeltetési szabályzat ír elő. A szabályozási sáv havi bontásban, mindig a hó elejére határozza meg a tartandó vízszinteket, úgy, hogy az év egészére a maximális vízszintben a 110 cm-t jelöli meg. Ennek a vízszintnek a meghatározását hat éves előkészítő munka előzte meg, a korábbi közel 30 évben ez a maximum 10 cm-rel alacsonyabb, tehát 100 cm volt. A jelenlegi vízszinttartási rend tehát, az előző sokéves szabályozáshoz képest már 60 millió m³ többletvíz tározását jelenti.

Az érvényben lévő megemelt vízszint ötvözi a figyelembe vehető igények többségét, prioritási sorrendek szem előtt tartásával. A prioritások között a legelső helyen a nyári idény kezdetére történő magas vízszinttartás szerepel. Az idegenforgalmi időszak optimális 110 cm-rel történő indítása úgy érhető el, ha a tó természetes tavaszi áradási időszakában (november–április) keletkező többlet vízmennyiségből annyi vizet ereszt le a kezelő a tóból, amennyit a biztonságos vízgazdálkodás megkövetel. Ez a lehetőség – a vízeresztéssel történő szabályozás tehát – csak akkor áll rendelkezésre, ha a téli-tavaszi áradási időszakban, vagy egyéb rendkívüli hidrometeorológiai helyzet (pl. Angéla és Zsófia viharciklonok okozta áradás) következtében tartósan 110 cm-t meghaladó vízszintek alakulnak ki. Ha az áradás mértéke elmarad a sokéves értékektől és nem alakul ki tavaszra a tóban tartósan 110 cm-t meghaladó vízszint, úgy vízeresztésre nincs lehetőség.

A Balaton vízmennyiségi változásának (vízállásváltozásának) elemzéséhez 1921 óta állnak rendelkezésre ellenőrzött, megbízhatónak tekinthető havi és évi bontású vízháztartási mérlegek. Ezek alapján azt mondhatjuk, hogy a Balaton átlagos meteorológiai és hidrológiai viszonyok mellett lefolyásos tó, az átlagos évi lefolyás megközelíti a tó felületére érkező átlagos évi csapadékmennyiséget. A tó felületére sokéves átlagban 61 cm csapadék hullik, a legkevesebb évi csapadékot, 30 cm-t 2011-ben, a legtöbbet, 93 cm-t 2010-ben jegyezték fel. Az 1970-es évektől azonban – a korábbi időszakokhoz képest – nagyobb számmal fordultak elő az átlagosnál szárazabb évek, mikor is a tó lefolyástalan. Ugyanebben az időszakban külön figyelmet érdemel az átlagosnál szárazabb évek (3, 7, 4 egymást követő év) évcsoportokban történő jelentkezése. Ez a jelenség halmozódó vízhiányt eredményez, amely kedvezőtlenül érinti a tó vízforgalmát, jelentős és tartós vízkészlet- és vízszintcsökkenést okoz (Farkas et al., 2011).

A természeti tényezők közül a legnagyobb változékonyságot a hozzáfolyás mutatja. A legkisebb évi hozzáfolyást (29 cm) két egymást követő évben, az aszályos 2002–2003-ban, a legtöbbet (197 cm) 1965-ben jegyezték fel. A vízgyűjtőről származó vízszállítás átlag alatti értékei és időtartama, különösen az 1980-as évek első felétől napjainkig számottevően növekedtek. Korábban nem tapasztalt hozzáfolyás-hiány alakult ki a Balaton vízgyűjtőn először nyolc egymást követő (1988–1995) évben, majd rövid kihagyás után tíz egymást követő évben (2000–2009), majd 2011–2012. években is hiányhalmozódás tapasztalható. A köztes rendkívül vízbő 2010. évben a lehulló csapadék egy része az átlagosnál szárazabb évek következtében részlegesen kiürült felszín alatti vízkészletek pótlódására fordítódott és csak a fennmaradó csapadékhányadból keletkezett a tó vízkészletét gyarapító hozzáfolyás.

Az elmúlt 13 évben a vízgyűjtőről érkező vízmennyiségek az időszak 9%-ában az átlagtól jelentősen elmaradtak, erősen vízhiányos a vízgyűjtőterület, és természetesen az átlagosnál jóval szárazabb években (2001–2004, 2012) egyáltalán nem volt leeresztés. A leeresztésre jutó többletvíz-készletek 1970-es évek közepétől mutatkozó

csökkenése egyúttal a tó vízcseré-aktivitásának lassulására, csökkenésére is felhívja a figyelmet.

További kiemelésre méltó tény az, hogy az 1921 és 1999 közötti időszakban a tó emberi hatástól mentes (vízleeresztés, vízhasználatok a tóból) évi vízmennyiségi egyenlege mindig pozitív volt. Ez azt jelenti, hogy a tóban a csapadék és hozzáfolyás együttes vízmennyisége több volt, mint az onnan elpárolgó víz mennyisége. Az utolsó 13 éves időszakban 7 olyan év fordult elő, amikor a „természetes bevétel” kisebb volt, mint a „természetes kiadás”! Tényként kell elfogadni tehát, hogy a jelenlegi alacsony vízállást nem a gondatlan kezelői magatartás, hanem az objektív hidrológiai körülmények eredményezték.

A szélsőséges éghajlati értékek – függetlenül attól, hogy azok a jelenlegi éghajlat változékonysága, vagy egy változásban levő éghajlat részeként jelennek meg – mindenképpen arra intenek, hogy megjelenésüknek olyan vízháztartási-vízjárási következményei vannak, amik a Balaton jelenlegi üdülőtő jellegű hasznosításában a nem-fenntartható állapotot idézhetik elő. A vízszintszabályozás esetleges módosítása önmagában nem képes ellensúlyozni az egyes vízháztartási elemeknél mutatókó anomáliákat és azok hosszú távú hatásait. A Balaton felső szabályozási vízszintjének további 10 cm-rel történő megemlése (120 cm-re) csak jelentős mértékű műszaki intézkedések bevezetése esetén lenne elfogadható, ami éves szinten több százmillió Ft többletköltséget igényelne. Csak így lehetne megakadályozni a vízszintemeléslől eredő déli-parti elöntéseket, a csapadécsatornák vízlevezetésének ellehetetlenülését, a kiépült infrastruktúra védelmét.

A *Cladophora* zöldmoszat inváziója a Balaton déli partján

A *Cladophora* zöldmoszat jellemzése

A *Cladophora* fajok édes és tengervízben egyaránt előfordulnak, telepeik több méteres méretet is elérhetnek, speciális ún. rhizoid sejtekkel rögzülnek a meder köveihez vagy más szilárd szubsztrátumhoz. A kedvezőtlen időszak átvészelésére a megvastagodott sejtfalú alapi (bazális) sejtek szolgálnak, mint kitartósejtek. Tengerpartokon gyakori jelenség, hogy a megnövekedett szárazföldi tápanyag input következtében a *Cladophora* hatalmas gyepeket képez, amelynek lebomlásakor gyakran oxigénhiány lép fel, ami a kagyló és ráktelepeken károkat okoz. A *Cladophora* a mérsékelt és a meleg égövi tengerekben közönséges, de a sarki vizekből hiányzik. Az édesvízi *Cladophora* fajok a vízi élőhelyek sokféleségét képesek benépesíteni, a hegyi patakoktól az eutróf tavakig és az egész világon elterjedtek. Gyakran káros mértékben elszaporodnak nagy külső foszforterhelés mellett. Az édesvízi fajoknak számos morfológiai (sejtméret, elágazási mintázat stb.) variációja van. Transzplantációs kísérletek azt mutatták, hogy az elágazási mintázat nagyon függ a környezettől, elsősorban a vízáramlás sebességétől. A legújabb molekuláris alapú rendszertani tanulmányok azt sugallják, hogy legfeljebb néhány, de nagy valószínűséggel csak egy édesvízi faj létezik (Marks & Cummings, 1996).

Az édesvízi *Cladophora glomerata* (édes békanyál) gyakran szaporodik ivartalanul, kétstoros zoosporákkal. Szaporodását és növekedését a hőmérséklet, a nappalok hossza, a napfény erőssége, B-vitamin ellátottság szabályozza (Hoffmann, 1990). Sejtfalában szilícium (Si) van, ezért szaporodásához ez az elem is szükséges (Moore & Traquair, 1976). A *Cladophora* megtapadásra alkalmas szilárd szubsztrátum esetén képes erős hullámozást is elviselni. Tömege közepes vízmozgás esetén gyakran nagyobb, mint a lassan vagy nagyon gyorsan folyó vízben. Ha a vízáramlás sebessége

kisebb, mint 10 cm/sec, szaporodása gátolt, mert nem biztosított a kellő mértékű diffúzió a tápanyagfelvételhez (Stevenson, 1996). A *Cladophora* erős sejtfaa édesvizekben nagyon jó szubsztrátumot jelent az epifitonok számára a litorális övben, ezért különösen fontos mikrohabitat az epifitikus mikróbák és az azokat fogyasztó gerinctelen állatok számára.

Az Erie tóban, ahol a litorális övben elég tápanyag van a *Cladophora* számára a perifiton elterjedése térben limitált. Gyakorlatilag minden megfelelő szubsztrátum (ezek a parti kövek) *C. glomerata*-val benépesített, miközben a *Cladophora* maga is szubsztrátumul szolgál és a litorális öv funkcionális területét nagyságrendekkel megnöveli. A *C. glomerata* számára az előfordulás maximális mélységét a fény határozza meg, az Erie tóban ez a mélység $28 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ (Lorenz et al., 1991).

A Cladophora zöldmoszat tömegprodukciója a Balatonban

A *Cladophora glomerata* a déli part sekély vizében 2002, 2003 nyarán (és 2012-ben is) hatalmas tömegben jelent meg. A *C. glomerata* tömeges elszaporodása a Balatonban nem új jelenség. Már 1934-ben is észlelték, hogy a „*Cladophora* nevű moszatot óriási mennyiségben vetik partra a Balaton hullámai”. Elterjedését vizsgálva megállapították, hogy a *Cladophora* túrzások a Siófok és Balatonlelle közti partszakaszra jellemzőek és „Balatonszemes térségében olyan tömegben lepi el a partot, hogy a fürdőtelep vezetőségének egészen komoly gondot okoz. Időről időre eltakarítják, kupacokba szedik, de néhány nap alatt újból ellep mindent. A fürdőzők undorodnak ettől, a partot elborító nyálkás, zöld anyagtól.” (Mihályi, 1936). A *Cladophora* kérdéssel azóta senki sem foglalkozott a Balaton vonatkozásban, Sebestyén és munkatársai 1949 őszén ugyan vizsgálták az alacsony vízállással kapcsolatos biológiai jelenségeket a Tihanyi-félszigeten (Sebestyén et al., 1951), sajnos a déli part állapotáról még említést sem tesznek.

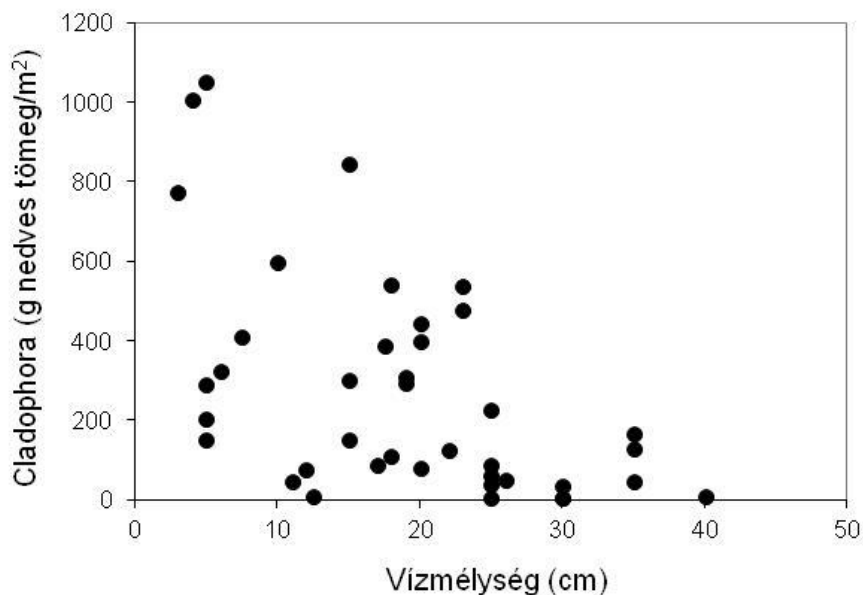
A mai nevén MTA Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézet munkatársai a déli part *Cladophora* vegetációját 2003. júliusában Balatonszabadi és Balatonberény között kilenc mintavételi szelvény 45 pontján mérték fel a releváns fizikai, kémiai és biológiai környezeti paraméterek meghatározásával egyetemben, beleértve az állományalkotó szubmerz vízinövény fajokat is, valamint kísérleteket végeztek az elterjedését szabályozó környezeti tényezők megismerése céljából (Vörös et al., 2004).

A mérések alapján megállapították, hogy július közepén és végén a Balaton déli partjának nádmentes területein mindenütt gazdag *Cladophora* gyepek alakultak ki, a mező szélessége 60 és 120 méter között változott, átlagosan 100 m széles volt. Az egységnyi tőfelületre eső alगतөmeg rendszerint a partközeli területeken volt a legnagyobb és a parttól távolodva csökkent, miközben a vízmélység nőtt (2. ábra).

A 2. ábrán jól látható, hogy fonalas algagyep 40 centiméternél mélyebb vízben a Balaton déli partján nem tud kialakulni. Mélységbeli elterjedését azonban nem a fény szabályozza, mint az Erie tóban, hiszen a Balaton 1 méteres mélységébe a felszínre érkező fotoszintetikusan aktív sugárzásnak legalább 15 %-a lejut, ez pedig egy nyári napon akár $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ fényintenzitást jelent, nagyságrenddel többet, mint a limitáló intenzitás (Lorenz et al., 1991).

A mintavételek során tett megfigyelések egyértelműen azt mutatták, hogy *Cladophora* csak ott van, ahol hínárnövények is vannak. A déli part homokja nem megfelelő szubsztrátum a telepek rhizoid sejtjeinek megtapadására, a homokból kibukkanó néhány centiméteres fiatal hínárhajtások azonban megfelelő tapadási, rögzülési felületet kínálnak a *Cladophora* számára. A mérések eredménye szerint a *Clado-*

2. ábra • A *Cladophora* tömegének változása a vízmélység függvényében a Balaton déli partján 2003 júliusában



phora biomassája (nedves tömege) 4 és 1050 g/m² között változott a déli part 100 méter széles parti sávjában, átlagosan 253 g volt négyzetméterenként. Az egységnyi partvonalra (parthosszra) eső *Cladophora* száraz tömeg 1760 g szt./m és 21260 g szt./m között változott. A maximális és egyben kiugróan magas értéktől eltekintve az egységnyi partvonalra eső átlagos alगतömeg 4180 g szt./m volt. Az a parthossz, ahol a *Cladophora* dúsan tenyészt - ortofotókon végzett mérések szerint- 55 kilométerre tehető, ami egyben azt is jelenti, hogy a *Cladophora* becsült össztömege kerekén 230 tonna szárazanyag volt. Összehasonlításként megemlítiük, hogy ugyanekkor vízfelületen a tó mély vizében a lebegő algák össztömege még a Keszthelyi-medence nyári biomassza csúcserkével számolva is mindössze 28 tonna száraz tömeget jelent. 2003 július végén egyébként a planktonikus algák becsült össztömege a Balatonban 270 tonna száraztömeget tett ki, azaz a *Cladophora* gyepterjesztés tömege gyakorlatilag megegyezett a tó egészének planktonikus alगतömegével (Vörös et al., 2004). Itt kell megjegyeznünk, hogy ehhez hasonló részletes felmérést 2012-ben nem végeztünk, de a terület bejárása alapján megállapítottuk, hogy a *Cladophora* invázió mértéke ebben az esztendőben megközelítette a 2003-évit.

A *Cladophora* tömeges elszaporodását rendszerint a tengerek, tavak parti övének növekvő foszfterterhelésével magyarázzák (Graham & Wilcox, 2000). A Balatonban minden bizonnyal nem erről van szó. A déli parton júliusban van elegendő fény a gyors szaporodáshoz, a szaporodásnak a magas hőmérséklet is kedvez, a nádas öv nélküli partszakaszokon mindenütt előforduló hínárnövények pedig megfelelő tapadási felületet biztosítanak számára. A hínárokhoz tapadó fonaltömegeket a tó hossztengegyére merőleges uralkodó szél által keltett hullámok nem tudják a partra kivetni, ugyanakkor a gyakran cserélődő víztömegek gondoskodnak a folyamatos, bár alacsony koncentrációjú tápanyag (foszfor és nitrogén) utánpótlásról. Erre utalnak azok a mérési eredmények is, amelyek szerint a *Cladophora* gyepekben az oldott reaktív P

koncentrációja nem tér el a nyíltvízétől. Ugyanakkor a sejtek foszfortartalma nem mutatott tendenciózus területi különbségeket, átlagosan 824 ± 299 $\mu\text{g/g}$ száraz tömeg volt. Ez másképpen fogalmazva azt jelenti, hogy a sejtek száraztömegének 0,08 % volt a P, ami erős foszforlimitációt jelez, hiszen az 0,16 %-nál kezdődik (Planas et al., 1996).

A nyári kánikulában a sekély részeken, ahol a *Cladophora* fonalszövedéke sűrűn borította a területet, a víz hőmérséklete jóval meghaladta a nyíltvizét, mintavételek alkalmával gyakran a 35 °C-ot is elérte, ez pedig a laboratóriumi fotoszintézis mérések eredményei szerint egyértelműen serkentette annak fotoszintézisét, igaz 30 °C-felett légzése jelentősen megnőtt (Kovács et al., 2005). Mindent összevetve azonban kijelenthető, hogy a magas hőmérséklet a *Cladophora* elszaporodásának egyértelműen kedvező körülmény (Vörös et al., 2004; Vörös, 2009).

Összefoglalva a *Cladophora* balatoni előfordulásáról és annak körülményeiről szerzett ismereteinket kijelenthető, hogy a tó üdülésre való alkalmasságát káros mértékben befolyásoló tömegprodukciója nyáron, 30 centiméternél sekélyebb vízben tud kialakulni, de ez nem vízszennyezés, hanem az alacsony vízállás szükségszerű következménye.

A vízszintváltozás hatása hínárosokra és nádasokra

A hínárosok

A hínárok elterjedését elsősorban a fény határozza meg (Tóth és Herodek, 2008, 2011; Tóth és mts., 2011; Vári és Tóth 2008), sőt lényegében addig beszélünk parti zónáról, amíg a tó fenekére elég fény jut le a hínár nettó fotoszintéziséhez (ügynevezett eufotikus zóna). A Balaton fő jellemzője a mélységéhez viszonyított nagy területe, így a legkisebb szél is intenzív felkeveredéshez vezet. Ez magyarázza azt a tényt, hogy miért nem borítja a Balaton teljes területét hínár. A vízszint csökkenése jelentősen módosítja a tó eufotikus zónájának méretét.

A vizsgálataink kimutatták, hogy a legfontosabb balatoni hínár fajok fotoszintetikus rendszerei sikeresen adaptálódtak a Balaton félhomályos vizéhez (Tóth és Herodek, 2008, 2011; Tóth és mts., 2011). A hínárok fotoszintetikus paraméterei alapján kiszámítható a növények eufotikus zónája. A kapott adatok azt mutatják, hogy a hínárok a tóban legfeljebb a 2,2-2,3 méteres vízmélységű területeken terjedhetnek el. Ebből kiszámítható a Balatonban eufotikus területe, sőt előretehető annak változása a vízszint csökkenés során (1. Táblázat). A sekélyebb Balatonnak ugyanis egyre nagyobb része lesz élhetőbb a hínárok számára (1. táblázat).

Az 1. Táblázatból kiderül, hogy már 50 cm-es vízszintcsökkenéssel is nagyjából 60 %-kal nő az eufotikus zóna, míg 100 cm vízszintcsökkenés közel megháromszorozza a hínároknak kedvező területek méretét (1. táblázat).

1. táblázat • A Balaton eufotikus területe (km^2 -ben, illetve az adott vízszintnek megfelelő tóterület %-ában) adott vízszinteknél (Siófoki vízmérce alapján)

vízszint	km^2	tóterület %-a
110 cm	67,7	10,4
60 cm	111,3	17,1
10 cm	188,4	29,0

Feltételezhető, hogy a vízszint csökkenésével a Balaton átlaghőmérséklete is nőni fog, ennek következtében valószínűsíthető a melegkedvelő és egyben tűskés fajok (*Ceratophyllum demersum* és *Najas marina*) elterjedése. Ezt a két faj nem kedvelt táplálékforrása sem a madaraknak, sem a halaknak, így az elterjedésüknek nem lesz biológiai korlátja sem.

Természetesen a fény csak szükséges, de nem elégséges feltétele a hínár elterjedésének. A sikeres megtelepedéshez további tényezők is szükségesek, pl. kellő állagú és tápanyagtartalmú üledék, és lehetnek területek, ahol a hullámozás mechanikai hatása gátolhatja a hínárok terjedését.

A nádasok

A nád (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) a Balaton partjának egyik ékköve. Gyakran eléri a 4 m-es magasságot (Tóth, 2007; Tóth és Szabó, 2012). Élvelő, enyhén fásodó szárú, vizet kedvelő és tűrő növény. A nád vizes környezetben, így a Balatonban is elsősorban kúszó gyökértörzseivel terjed, ezért a nád biomasszája javarészt (2/3-a) az üledékben található.

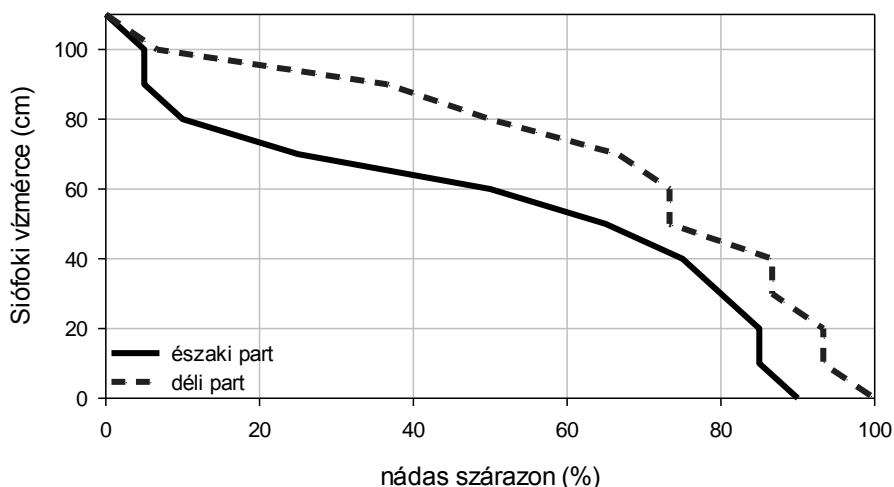
A nádasok üledéke egy speciális mikrobiológiai közösségnek ad otthont (Van Der Putten et al., 1996; Armstrong et al., 2000). Ezek a mikrobák a vízbe és az üledék felszínére kerülő tápanyagokat felhasználva lebontják a nádas elhalt szerves részeit, amihez az üledék nitrogén és foszfor tartalmait használják fel. A baktériumok csak az üledék erős redukciójával tudnak ezekhez a tápanyagokhoz hozzáférni. A mikrobiális lebontás következtében az üledék jelentős része redukálódik, vagy is fellép a hipoxia (oxigéntartalom csökkenése) és esetenként az anoxia (teljes oxigénhiány) (Van Der Putten et al., 1996; Armstrong et al., 2000). A hipoxia esetén a nád rizómái, gyökerei összetömrülnek, ami a víz feletti részek sűrűsödéséhez vezet (a nád babásodása), az anoxia esetén a gyökértörzs nem jut elegendő oxigénhez, ezért a nád az adott területen elpusztul.

Ehhez hozzájárul a nád eléggé speciális szaporodási stratégiája. Mint minden növény, a nád is két módon, vagyis ivaros és ivartalan (vegetatív) módon képes a szaporodásra. A vízzel nem, vagy időszakosan borított területeken a két szaporodási forma egyensúlyban van, ezzel szemben a vízzel borított területeken az ivaros és ivartalan szaporodás közötti egyensúly teljes mértékben felborul (Haslam, 1969, 1970). A mag vízre hullva elpusztul, de a már kicsírázott magok esetében a jelentéktelennek tűnő vízszintemelkedés (~10 cm) is komoly károkat okoz (Armstrong és mts. 2000).

A vízszint csökkentése jelentősen hozzájárul a nádas elterjedéséhez. Ez egyrészt az ivaros szaporodásra alkalmas területek (szárazulatok) növekedésével, másrészt az üledék oxidálásán keresztül valósul meg. Egy adott nádas területnek a szárazra kerülése már egy rövid időre is jelentős segítség a nádpusztulás háttérbe szorításához. Vizsgálataink azt mutatják, hogy az alacsonyabb vízállás főleg a déli parton mutatja ki intenzívebb hatását (1. ábra). A siófoki vízmérce 60 cm-es szintjénél az északi part nádasának 50%-a, míg a déli part nádasának 70%-a kerül szárazra, tehát vízben álló nádas nagyobbik részét nem fogja víz borítani (3. ábra). Természetesen a vízszint további csökkenésével a nádasnak a többi része is szárazra kerül (3. ábra).

Összefoglalva a hínárokról és nádról szerzett ismereteinket, elmondható, hogy évszázadokon keresztül a Balaton jelentős vízszintingadozása olyan fajoknak kedvezett, amelyek jelenleg is a Balatonban találhatóak. A vízszint mesterséges stabilizálása az elmúlt fél évszázadban óhatatlanul előidézte a parti zóna növényzetének lassú degradálódását. Ilyen mértékű és intenzitású emberi beavatkozás evolúciós léptékben nagyon gyors folyamat, így a növények nem képesek sikeresen alkalmazkodni a Bala

3. ábra • A vízszint csökkenése következtében a szárazra került nádasok (a tó összterületének %-ában) a Balaton északi és a déli partján



ton stabil vízszintjéhez, ezért helyenként változó ütemben, de folyamatosan visszaszorulnak.

A hínár és a nád ökológiai állapotának sikeres javítása azon múlik, hogy merjük-e visszaállítani a Balaton természetes vízszintingadozását. Az utóbbi évtized alacsony vízszintje megmutatta, hogy a Balaton növényközösségeiben az alacsony vízszint nem okoz kárt, így el kell fogadnunk, hogy az alacsony vízszint elsősorban az embereket zavarja.

Köszönetnyilvánítás

A munkát a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0038 azonosító számú projekt támogatta.

Felhasznált irodalom

- Armstrong, W., Cousins, D., Armstrong, J., Turner, D. W., Beckett, P. M. 2000. Oxygen Distribution in Wetland Plant Roots and Permeability Barriers to Gas-exchange with the Rhizosphere: a Microelectrode and Modelling Study with *Phragmites australis*. *Annals of Botany* 86: 687–703.
- Cholnoky Jenő 1936. *Balaton*. Budapest: Franklin
- Farkas, A., G. Kravinszkaja, K. Kutics, P. Pomogyi, & Gy. Varga 2011. Project EULAKES Ref.No. 2CE243P3, European Lakes under Environmental Stressors (kézirat)
- Fazekasné Mulesza O. & Krasznainé Szabó K. 2003. Széles a Balaton vize? 170 év a tó történetéből, ahogy az újságok megírták. Városi Könyvtár Siófok. p.119.
- Graham, L. E. & L.W. Wilcox 2000. *Algae*. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ 07458, Printed in the United States of America
- Haslam, S. M. 1969. The development and emergence of buds in *Phragmites communis* Trin. *Annals of Botany* 33: 127–131.

- Haslam, S. M. 1970. The development of the annual population in *Phragmites communis* Trin. *Annals of Botany* 34: 571–591.
- Hoffmann J. P. 1990. Dependence of photosynthesis and vitamin B12 uptake on cellular vitamin B12 concentration in the multicellular alga *Cladophora glomerata*. *Limnol. Oceanogr.* 35: 100–108.
- Kovács W. A., Németh B., Présing M., Tóth N. & Vörös L. 2005. A *Cladophora* fonalas zöldalga fotoszintézisének hőmérséklet és fényfüggése a Balatonban. *Hidrológiai Közöny* 85: 81–84.
- Kravinszkaja G., Babócs-Pápai E. & Varga Gy. 2012. *A Balaton vízháztartásának szélsőségei a közelmúltban*. Balatoni Integrációs Közhasznú Nonprofit Kft.
- Lorenz, R. C., M.E: Monaco, C. & E. Herdendorf 1991. Minimum light requirements for substrate colonization by *Cladophora glomerata*. *J. Great. Lakes Res.* 17: 536–542.
- Marks, J. C. & Cummings, M. P. 1996. DNA sequence variation in the ribosomal internal transcribed spacer region of freshwater *Cladophora* species (Chlorophyta). *J. Phycol.* 32: 1035–1042.
- Mihályi F. 1936. A *Cladophora* tömeges előfordulása a Balaton túrásaiban 1934-ben. *MBKI Munkái* VIII: 241–246.
- Moore, J. F. & Traquair, J. A. 1976. Silicon, a required nutrient for *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. *Planta* 128: 179–182.
- Planas, D., S. C. Maberly, & J. E. Parker 1996. Phosphorus and nitrogen relationships of *Cladophora glomerata* in two lake basins of different trophic status. *Freshwater Biol.* 35: 609–622.
- Sebestyén O., Entz B. & Felföldy L. 1951. Alacsony vízállással kapcsolatos biológiai jelenségekről a Balatonban 1949-őszén. *Annal. Biol. Tihany* XX: 127–160.
- Stevenson R. J. 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In: R. J. Stevenson et al. (eds): *Algal Ecology*. Avademoc Press, New York, 3–30.
- Tóth, V. R., Vári, Á., Luggosi, S. 2011. Morphological and photosynthetic acclimation of *Potamogeton perfoliatus* to different environments in Lake Balaton. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 40: 43–51.
- Tóth, V. R., & Herodek, S. 2011. Seasonal shift of dominance in a submerged rooted macrophyte community of Lake Balaton. *Annales de Limnologie–International Journal of Limnology* 47: 141–150.
- Tóth, V. R. & Herodek, S. 2008. Seasonality of photosynthesis of *Potamogeton perfoliatus* in Lake Balaton. *Hidrológiai Közöny* 88: 215–218.
- Tóth, V. R., & Szabó, K. 2012. Morphometric structural analysis of *Phragmites australis* stands in Lake Balaton. *Annales de Limnologie–International Journal of Limnology* 48: 241–251.
- Tóth, V. R. 2007. A Balaton északi és déli part nádasainak morfológiai összehasonlítása. In Mahunka, S., Banczerowski, J. (eds.): *A Balaton kutatásának 2006. évi eredményei*. Budapest, MTA Kiadója, 15–39.
- Van Der Putten, W. H., Peters, B. A. M. & Van Der Berg, M. S. 1996. Effects of litter on substrate conditions and growth of emergent macrophytes. *New Phytologist* 135: 527–537.
- Vári, Á., & Tóth, V. R. 2008. A *Potamogeton perfoliatus* morfológiájának összehasonlító vizsgálata a Balaton északi és déli partján. *Hidrológiai Közöny* 88: 231–237.

- Vörös L. 2009. A Balaton algaegyütteseinek szerepe és szabályozó tényezői. In: Bíró P. & Banczerowski J.-né (Eds.) *A Balaton-kutatások fontosabb eredményei 1999–2009*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest 45–60.
- Vörös L., Kovács A., Pajer Gy. & Mózes A. 2004. A Balaton planktonikus és üledék-lakó algaegyütteseinek szerepe és szabályozó tényezői. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) *A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest 7–15.